冲突水平的变化诱发冲突适应

张孟可 [1]　李晴 [1]　尹首航 [1]　陈安涛 [1]

([1] 西南大学心理学部，认知与人格教育部重点实验室，重庆 400715)

摘　要　冲突适应是重要认知控制现象，反映了认知控制的动态过程。然而，目前为止对于冲突水平上的差异能否诱发冲突适应尚不清楚。本研究采用字母 Flanker 的变式，通过改变目标-分心物的一致性操纵冲突水平，探究冲突水平的变化对认知控制调整的影响。结果发现被试的反应时间随冲突水平的提高而增加；而且先前试次的一致性影响当前试次的干扰效应，无冲突和低冲突、无冲突和高冲突、低冲突和高冲突条件之间均出现了典型的冲突适应。本研究结果表明，除了冲突的有无，冲突水平的变化也能诱发冲突适应，支持更大的冲突驱动更强的认知控制，而且冲突诱发的认知控制的功能可能通过注意聚焦实现。这一发现为冲突监测理论的注意调节机制提供了直接的支持证据，对于促进冲突适应的相关研究具有重要意义。

关键词　认知控制；冲突水平；冲突适应；注意聚焦

分类号　B842

1 引言

认知控制是目标导向行为的基础。在实验室条件下，通常采用冲突任务来研究认知控制。比如，在色-词 Stroop 任务(Stroop, 1935)中，被试需要对词的颜色(任务相关维度)进行判断同时忽略词义(任务无关维度)；被试在颜色与词义不一致的条件下的反应时间总是慢于一致条件，不一致试次反应时与一致试次反应时之差称为干扰效应(interference effect)。干扰效应的大小反映了任务无关维度相对于任务相关维度的信号强度，以及应用的认知控制水平(Braem et al., 2019)。已有研究发现，不一致试次之后的干扰效应常常低于一致试次之后的干扰效应，这一现象被称为冲突适应或一致性序列效应(conflict adaptation effect/congruency sequence effect) (Gratton et al., 1992; 刘培朵等, 2012)。

目前对冲突适应的解释有两种主流理论。冲突监测理论认为，冲突适应受到自上而下的认知控制的调节；当先前试次为不一致试次时触发了调整机制，认知控制水平提高，而先前试次为一致试次时则无此调整，导致干扰效应在不一致试次之后比在一致试次后小，表现为对冲突的“适应”。冲突适应被解释为个体对先前试次冲突的监测导致在当前试次中更好地控制了冲突(Botvinick et al., 2001; Botvinick et al., 1999)。来自脑成像的研究证据表明，冲

收稿日期：2020-02-24

* 国家自然科学基金项目(31771254),中央高校基本科研业务费专项资金(SWU1609106, SWU1709107, SWU1909567)资助。

通信作者：陈安涛，E-mail: xscat@swu.edu.cn

突适应包括由前扣带皮层(anterior cingulate cortex, ACC)支持的评价过程，和由背外侧前额叶皮层(dorsolateral prefrontal cortex, dlPFC)支持的控制过程(Botvinick, 2007; Botvinick et al., 2004)。绑定学习理论则认为，冲突适应可能是在线学习和唤醒交互作用的结果，与冲突监测理论不同，其认为蓝斑(locus coeruleus, LC)在冲突监测和冲突解决之间起中介作用，蓝斑释放波及全脑的去甲肾上腺素进而影响在线学习中任务相关的主动表征，导致更好的适应(Verguts & Notebaert, 2008; 2009)。近年来，有学者为冲突适应现象提供了一些新的理论解释。分心物启动假说(distracter head start hypothesis)认为排除特征重复和偶发学习后，分心物先于目标出现更容易诱发冲突适应，强调反应激活的时间差异对驱动认知控制的调整有重要作用(Weissman et al., 2015; Weissman et al., 2014)。此外，Egner (2014)整合了解释一致性序列效应的“联结”(自下而上)和“控制”(自上而下)视角，提出了多层级学习理论，认为不同水平的学习协同完成目标。具体而言，学习将外部刺激与合适的内部状态联结起来。基于认知和神经证据，Chiu 和 Egner (2019)又提出了情境-控制学习(context-control learning)，外部线索以自下而上的方式触发适当的自上而下的控制设置。另外，Dignath 等(2019)整合了控制和情景检索理论，认为抽象的控制设置可以和刺激、反应以及情境编码共同储存在事件夹中。这些理论基于不同的实验范式和设计，从不同角度揭示了冲突适应现象的本质，可能互为补充。

冲突适应研究中一个重要的问题是，冲突的性质与冲突适应是如何相互影响的？有研究发现先前的刺激冲突会导致冲突适应(Notebaert & Verguts, 2006; Verbruggen et al., 2006)。Liu 等(2012)分别采用 6 种颜色刺激的 2-1 映射的 Flanker 和 Stroop 任务，严格控制了特征整合以及反应、刺激平衡，发现先前试次的刺激冲突和反应冲突都能引发冲突适应，但只有当前试次的反应冲突能够反映冲突适应。脑成像研究也表明，ACC 和 dlPFC 的不同区域可能分别负责 Stroop 任务中的刺激冲突和反应冲突加工(Kim et al., 2010; Kim et al., 2011)。可以认为，冲突监测能够识别冲突的类型进而引发相应的认知控制调整。

不过，在以往研究中，先前试次包含的均是不同类型的冲突，因而其结果只能说明先前冲突类型对冲突适应的影响。但事实上，同一冲突类型内还存在冲突水平的差异。那么，先前试次下冲突水平的差异是否也能被监测到，进而引发冲突适应呢？这是目前为止尚未得到充分调查的重要问题。由于相关的实证研究较少，冲突监测和绑定学习等理论也未明确冲突强度和认知控制调整之间的关系。本研究试图研究这一问题，以加深我们对冲突适应产生机制的认识。

已有研究通常改变竞争反应的激活强度来操纵冲突水平。Danielmeier 等(2009)改变侧翼

和目标箭头之间的距离(近和远)，实现了对冲突水平的调节。还有研究采用 Flanker 任务操纵目标和分心物的刺激呈现异步化(stimulus onset asynchrony, SOA)来改变冲突强度，先呈现分心物再出现目标刺激会加强基于侧翼的反应激活，导致其干扰效应比目标和分心物同时呈现时更大(Eriksen & Schultz, 1979; Flowers, 1980; Weissman et al., 2014)。Wendt 等(2014)采用类似启动-探测的 Flanker 任务操纵侧翼-目标的 SOA 改变冲突水平，启动试次的 SOA 分 0ms 和－150ms 两种而探测试次的 SOA 为 0ms，结果发现先前试次为高冲突(SOA 为－150ms)时当前试次的干扰效应减小，而先前试次为低冲突(SOA 为 0ms)时则无冲突适应效应，支持视觉注意的调整依赖冲突强度。高冲突试次后的冲突适应效应与刺激前瞳孔直径的增加有关，反映高冲突试次后的认知努力增强，而瞳孔直径的变化常作为冲突或唤醒诱发的蓝斑活动调节的指标(Rajkowski et al., 1993)，因此该研究很大程度上支持绑定学习理论。此外，Foster 等(2011)采用改编的两字母 Flanker 任务参数化操纵目标-分心物的一致性，构成一致(如 SSSSSSS)、低不一致(如 HSSSSSH)、中等不一致(如 HHSSSHH)和高不一致(如 HHHSHHH)四种水平的冲突条件。结果发现，被试的反应时和错误率随着冲突水平的增加而增加，而且当前一致与不一致(包含低不一致、中等不一致和高不一致)试次的干扰效应在高不一致试次后比低不一致和中等不一致试次后更小，表明冲突水平的变化可以引发冲突适应。不过该研究存在一定局限：首先，两字母刺激集无法排除特征重复；Foster 等(2011)的冲突适应效应可能是特征整合与冲突监测共同作用的结果，不能证明冲突在适应性控制中起着关键作用。其次，试次类型的比例差异较大、仅将当前试次划分为一致和不一致两种类型；一致和不一致试次的比例能通过影响干扰效应的大小来影响冲突适应(Mayr & Awh, 2009)，一致与不一致试次之比为 7/3，夸大了冲突引起的干扰效应，同时导致当前试次中低不一致、中等不一致、高不一致试次的数量不足，无法进行深入精细的分析。为解决以上问题，本研究采用四字母 Flanker 任务，可以完全避免特征重复，排除自下而上的特征绑定的作用；一致与不一致试次数量相等，其中不一致试次又细分为低不一致和高不一致试次，各占总试次的 1/4，既保证了整体环境的稳定性，也有利于探究冲突适应的动态过程。

本研究采用改编的字母 Flanker 任务系统操纵冲突水平探究冲突适应的触发，进而检验冲突强度和认知控制调整之间的关系。我们假设，先前试次的冲突强度影响当前试次的认知控制水平，更大的冲突驱动更强的认知控制调整。如果无冲突和低冲突、无冲突和高冲突之间存在冲突适应而低冲突和高冲突之间不存在冲突适应，则可认为先前试次冲突的有无触发冲突适应，更大的冲突不能引发更强的认知控制调整；如果无冲突和低冲突、无冲突和高冲突、低冲突和高冲突之间均存在冲突适应，则说明除了冲突的有无，冲突水平的变化也能诱

发冲突适应，验证更大的冲突驱动更强的认知控制调整。

2 方法

2.1 被试

31 名 18 岁~23 岁的在校大学生(16 名男生)自愿参加本实验，平均年龄 19.74 岁(*SD* = 1.32)。所有被试均为右利手，视力或矫正视力正常，无色盲或色弱情况，无精神疾病史。实验完成后根据被试的任务表现给予相应的报酬。实验前采用 G*Power 3.1 软件估计样本量，设置效应量为 0.25(中等大小)，power 为 0.95，α 水平为 0.05，计算样本量为 22。

2.2 实验仪器

实验由 E-prime 2.0.10.92 软件编制，通过计算机运行呈现刺激并记录反应。显示器分辨率为 1280×768，刷新率为 60 Hz。被试双眼距离电脑屏幕 70 cm。

2.3 任务和程序

本实验改编自 Forster 等(2011)研究中的字母 Flanker 任务，刺激由 4 类白色的大写字母(F, H, N 和 P)组成，字母采用 28 号 Arial 字体，5 个水平排列的大写字母呈现在屏幕的中心位置，屏幕背景为黑色。刺激的长和宽分别为 5.3 cm 和 1.3 cm(视角为 4.33°×1.06°)。中心字母为目标刺激，两侧的字母为干扰刺激，侧翼字母与中心字母 100%一致的条件为无冲突(如 NNNNN)，50%一致的条件为低冲突(如 HNNNH)，0%一致的条件为高冲突(如 HHNHH)。通过改变目标-干扰刺激的一致性将不一致条件分离为低冲突和高冲突，实现冲突水平的操纵。

实验流程图见图 1。实验开始，屏幕中间呈现 500 ms 的白色注视点，随后呈现刺激，要求被试忽略两侧字母，只对中心字母进行按键反应。被试左手的中指和食指放在键盘上方的“1”和“2”，右手的食指和中指分别放在“9”和“0”上，中心字母“F、H、N、P”分别对应键盘上的“1、2、9、0”四个按键。在 1500 ms 内按键刺激消失，超过规定反应时间刺激也会消失。反馈屏呈现 800 ms，反应正确为空屏，反应错误提示“Incorrect”，反应太慢提示“No response detected”。紧接着呈现一个 500 ms 的注视点，随后进入下一试次。

本实验采用 3 (先前试次一致性：无冲突、低冲突、高冲突) × 3 (当前试次一致性：无冲突、低冲突、高冲突)的被试内设计。正式实验包括 6 个 block，block 随机呈现，每个 block 有 97 个试次(第一个试次不纳入分析)，一致和不一致试次各 48 个，其中不一致试次又分为

低冲突和高冲突各 24 个，刺激和反应匹配平衡，整个实验共 582 个试次。每个 block 中，无冲突-无冲突试次有 24 个，无冲突-低冲突、无冲突-高冲突、低冲突-无冲突、高冲突-无冲突试次各 12 个，低冲突-低冲突、低冲突-高冲突、高冲突-低冲突、高冲突-高冲突试次各 6 个。试次伪随机排列，在实验设计上避免分心物(侧翼)-分心物、分心物-目标(中心字母) 、目标-分心物和目标-目标的重复，即前一试次的目标刺激和干扰刺激与当前试次的目标刺激和干扰刺激均不同，避免特征整合效应。由于本研究中无冲突试次占 50%，低冲突和高冲突试次各占 25%，每种分心物与无冲突目标配对的频率比与低冲突和高冲突目标配对的频率更高，因而存在偶发学习的混淆；但在低冲突和高冲突试次中，各种刺激类型出现的频率相同，不存在偶发学习的影响。正式实验前是练习 block，有 48 个随机排列的试次，无冲突试次 24 个，低冲突和高冲突试次各 12 个，反应规则和正式实验一致。练习正确率达到 85%以上才能进入正式实验。

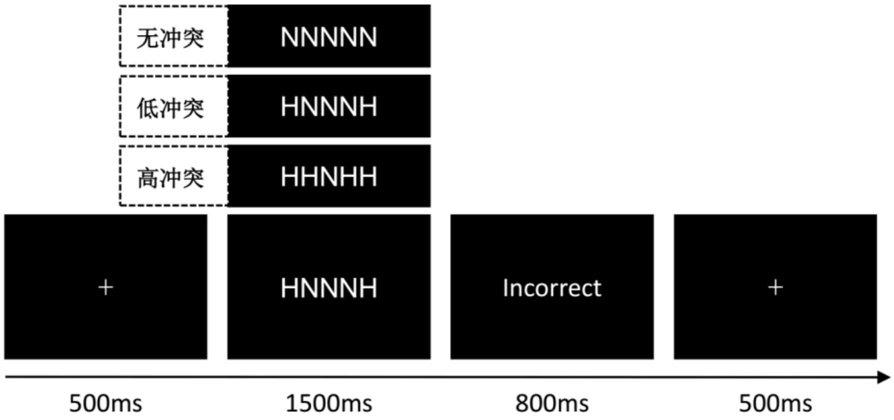


图 1 字母 Flanker 任务流程图

2.4 数据分析

剔除每个 block 中的第一个试次(1.03%)、错误试次和错误后试次(6.71%)以及每种条件下平均反应时±3 个标准差之外的试次(1.13%)。本实验共删除 8.87%的试次。在试次一致性和冲突适应效应的分析上，对反应时和错误率分别进行单因素重复测量方差分析和两因素重复测量方差分析。分析主要关注先前试次一致性和当前试次一致性的交互作用，如果交互作用显著则进一步明确冲突适应效应的来源。统计分析的显著性水平设为 0.05，将 η_p^2 作为效应量大小的指标，并报告差异的 90%的置信区间。

3 结果

3.1 干扰效应

对试次一致性(无冲突、低冲突、高冲突)的平均反应时和错误率(见图 2A、2B)进行单因素重复测量方差分析。结果发现，不同冲突条件下被试的平均反应时差异显著，$F(2, 60) = 106.51$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.78$，90%CI[0.69,0.83]，这反映了试次一致性存在显著的干扰效应。事后多重比较发现，无冲突条件下的反应时(708.63±66.23 ms)显著短于低冲突和高冲突条件($ps < 0.001$)，且低冲突条件下的反应时(751.18±69.24 ms)显著短于高冲突条件(767.83±70.20 ms) ($p < 0.001$)，即 $RT_{无冲突} < RT_{低冲突} < RT_{高冲突}$。在错误率上，不同冲突条件下被试的错误率差异边缘显著，$F(2, 60) = 2.90$，$p = 0.063$，$\eta_p^2 = 0.09$，90%CI[0.00,0.20]。事后多重比较发现，无冲突(3.11±2.59 %)与低冲突(3.92±2.91 %)的错误率差异边缘显著($p = 0.069$)，无冲突或低冲突与高冲突(3.72±3.03 %)的错误率无显著差异。

3.2 冲突适应效应

对先前试次一致性(无冲突、低冲突、高冲突)和当前试次一致性(无冲突、低冲突、高冲突)的平均反应时和错误率(见图 2C、2D)进行两因素重复测量方差分析，描述性统计结果见表 1。

先前试次一致性与当前试次一致性的反应时的统计分析结果见表 2。在反应时上，先前试次一致性的主效应显著，$F(2, 60) = 13.32$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.31$，90%CI[0.14,0.43]；多重比较发现，先前试次为低冲突的反应时显著短于无冲突和高冲突($ps = 0.001$)，无冲突与高冲突的反应时无显著差异 ($p = 1.00$)。当前试次一致性的主效应显著，$F(2, 60) = 103.82$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.78$，90%CI[0.68,0.82]；多重比较发现，当前试次为无冲突的反应时显著短于低冲突和高冲突($ps < 0.001$)，且低冲突的反应时显著短于高冲突($p < 0.001$)。先前试次一致性与当前试次一致性的交互作用显著，$F(4, 120) = 13.06$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.30$，90%CI[0.17,0.38]；表明先前试次一致性(无冲突、低冲突、高冲突)影响当前试次(无冲突、低冲突、高冲突)的干扰效应。

3 (先前试次一致性：无冲突、低冲突、高冲突) × 2 (当前试次一致性：无冲突、低冲突)的重复测量方差分析结果表明，先前试次一致性的主效应显著，$F(2, 60) = 21.38$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.42$，90%CI[0.24,0.53]；当前试次一致性的主效应显著，$F(1, 30) = 94.42$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.76$，90%CI[0.61,0.83]；且二者的交互作用显著，$F(2, 60) = 19.70$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.40$，

90%CI[0.22,0.51]，表明先前试次一致性(无冲突、低冲突、高冲突)影响当前试次(无冲突、低冲突)的干扰效应。为了确定交互作用的来源，将干扰效应($RT_{低冲突}-RT_{无冲突}$)作为因变量，先前试次一致性作为重复测量因子进行了分析，结果同前。多重比较发现，低冲突和高冲突试次后的干扰效应均显著小于无冲突后的干扰效应($ps < 0.001$)，而低冲突和高冲突试次后的干扰效应无显著差异($p = 0.208$)。进一步分析发现，先前试次一致性(无冲突、低冲突)和当前试次一致性(无冲突、低冲突)的主效应均显著($ps < 0.001$)，交互作用也显著，$F(1, 30) = 35.43$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.54$，90%CI[0.32,0.67]，显示出经典的冲突适应的模式，说明低冲突试次后的干扰效应(15.68 ms)显著小于无冲突试次后的干扰效应(61.70 ms)；先前试次一致性(无冲突、高冲突) 和当前试次一致性(无冲突、低冲突)的主效应均显著($p = 0.011$, $p < 0.001$)，交互作用也显著，$F(1, 30) = 22.86$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.43$，90%CI[0.20,0.58]，呈现经典的冲突适应模式，表明高冲突试次后无冲突与低冲突之间的干扰效应(31.00 ms)显著小于无冲突试次后的干扰效应(61.70 ms)；先前试次一致性(低冲突、高冲突) 和当前试次一致性(无冲突、低冲突)的主效应均显著($ps < 0.001$)，交互作用边缘显著，$F(1, 30) = 3.55$，$p = 0.069$，$\eta_p^2 = 0.11$，90%CI[0.00,0.28]，表明高冲突试次后无冲突与低冲突之间的干扰效应(31.00 ms)边缘显著大于低冲突试次后的干扰效应(15.67 ms)。

3 (先前试次一致性：无冲突、低冲突、高冲突) × 2 (当前试次一致性：无冲突、高冲突)的重复测量方差分析结果表明，先前试次一致性的主效应不显著，$F(2, 60) = 1.17$，$p = 0.318$，$\eta_p^2 = 0.04$；当前试次一致性的主效应显著，$F(1, 30) = 166.23$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.85$，90%CI[0.74,0.89]；二者的交互作用显著，$F(2, 60) = 10.43$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.26$，90%CI[0.10,0.38]，表明先前试次一致性(无冲突、低冲突、高冲突)影响当前试次(无冲突、高冲突)的干扰效应。将干扰效应($RT_{高冲突} - RT_{无冲突}$)作为因变量，先前试次一致性作为重复测量因子进行分析，结果同前。多重比较发现，高冲突试次后的干扰效应均显著小于无冲突和低冲突后的干扰效应($p < 0.001$，$p = 0.011$)，而无冲突和低冲突试次后的干扰效应无显著差异($p = 0.862$)。进一步分析表明，先前试次一致性(无冲突、高冲突)和当前试次一致性(无冲突、高冲突)的交互作用显著，$F(1, 30) = 25.08$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.46$，90%CI[0.22,0.60]，显示出经典的冲突适应的模式，说明高冲突试次后的干扰效应(34.28 ms)显著小于无冲突试次后的干扰效应(70.84 ms)；先前试次一致性(低冲突、高冲突)和当前试次一致性(无冲突、高冲突)的交互作用显著，$F(1, 30) = 9.90$，$p = 0.004$，$\eta_p^2 = 0.25$，90%CI[0.05,0.43]，呈现经典的冲突适应模式，表明高冲突试次后无冲突与高冲突之间的干扰效应(34.28 ms)显著小于低冲突试次后的干扰效应(61.14 ms)。

3 (先前试次一致性：无冲突、低冲突、高冲突) × 2 (当前试次一致性：低冲突、高冲突) 的重复测量方差分析结果表明，先前试次一致性的主效应显著，$F(2, 60) = 13.88$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.32$，90%CI[0.15,0.44]；当前试次一致性的主效应显著，$F(1, 30) = 27.70$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.48$，90%CI[0.25,0.62]；二者的交互作用显著，$F(2, 60) = 11.06$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.27$，90%CI[0.11,0.39]，表明先前试次一致性(无冲突、低冲突、高冲突)影响当前试次(低冲突、高冲突)的干扰效应。将干扰效应($RT_{高冲突} - RT_{低冲突}$)作为因变量，先前试次一致性作为重复测量因子进行分析，结果同前。多重比较发现，低冲突试次后的干扰效应均显著大于无冲突和高冲突后的干扰效应($p = 0.005$，$p < 0.001$)，而无冲突和高冲突试次后的干扰效应无显著差异($p = 1.00$)。进一步分析表明，先前试次一致性(无冲突、低冲突) 和当前试次一致性(低冲突、高冲突)的主效应均显著($ps < 0.001$)，交互作用也显著，$F(1, 30) = 11.97$，$p = 0.002$，$\eta_p^2 = 0.29$，90%CI[0.08,0.46]，显示反转的冲突适应，说明低冲突试次后高冲突与低冲突之间的干扰效应(45.47 ms)显著大于无冲突试次后的干扰效应(9.15 ms)；先前试次一致性(低冲突、高冲突)和当前试次一致性(低冲突、高冲突)的主效应均显著($p = 0.017$, $p < 0.001$)，二者的交互作用也显著，$F(1, 30) = 20.22$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.40$，90%CI[0.17,0.56]，呈现经典的冲突适应模式，表明高冲突试次后低冲突与高冲突之间的干扰效应(3.28 ms)显著小于低冲突试次后的干扰效应(45.47 ms)。

在错误率上，先前试次一致性的主效应不显著，$F(2, 60) < 1$，$p = 0.725$, $\eta_p^2 = 0.01$；当前试次一致性的主效应边缘显著，$F(2, 60) = 2.55$，$p = 0.086$, $\eta_p^2 = 0.08$, 90%CI[0.00,0.18]。先前试次一致性与当前试次一致性的交互作用也不显著，$F(4, 120) < 1$，$p = 0.963$, $\eta_p^2 = 0.01$，表明在错误率上当前试次的干扰效应不受先前试次一致性的影响。

表 1 先前试次一致性与当前试次一致性的反应时和错误率

先前试次一致性	当前试次一致性		
	无冲突	低冲突	高冲突
无冲突	701.58 (65.86)	763.27 (72.44)	772.42 (78.31)
	3.36 (2.83)	4.03 (2.96)	3.68 (3.56)
低冲突	706.88 (67.91)	722.55 (70.05)	768.02 (71.22)
	2.64 (2.72)	3.68 (4.94)	3.76 (4.68)
高冲突	724.61 (69.82)	755.61 (73.33)	758.88 (65.31)
	3.09 (2.97)	3.94 (4.64)	3.77 (3.83)

注：上方为反应时(Standard Deviation, SD)，单位为 ms；下方为错误率(SD)，单位为%。

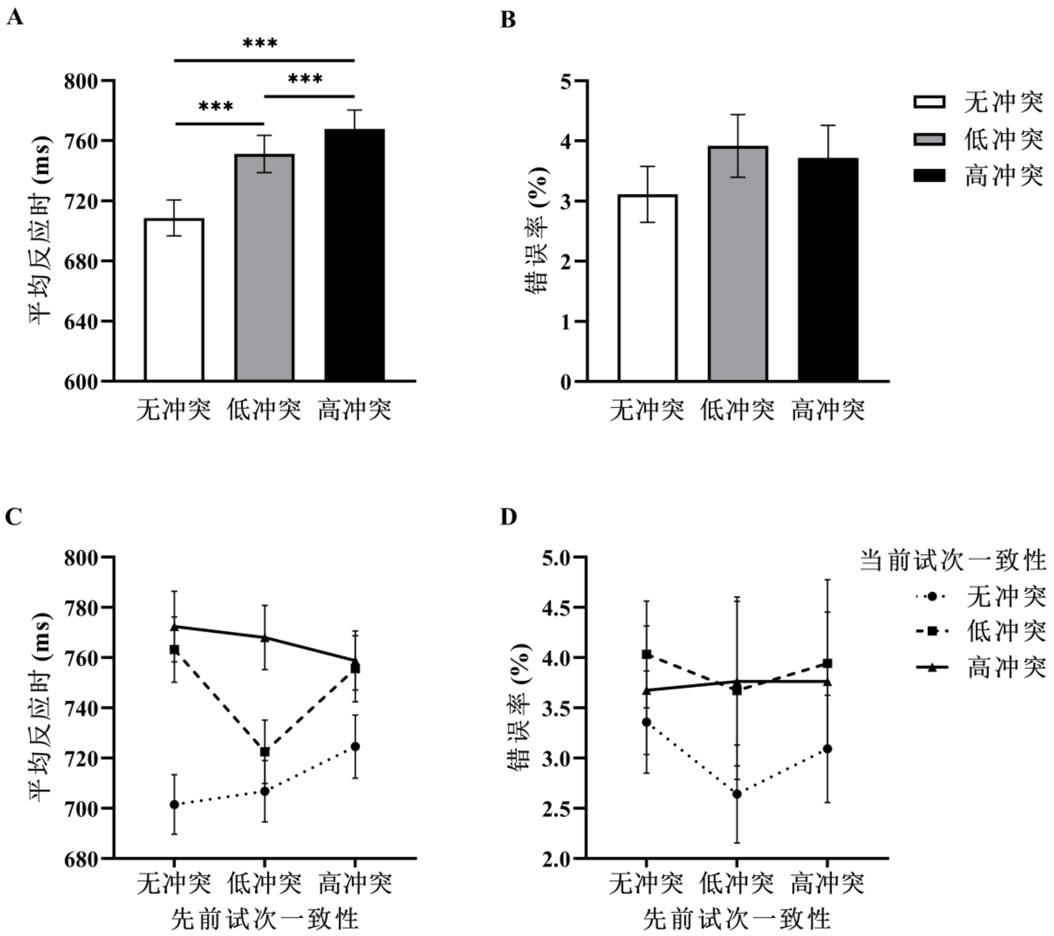


图 2　试次一致性(无冲突、低冲突、高冲突)的平均反应时(A)和错误率(B)；先前试次一致性(无冲突、低冲突、高冲突)与当前试次一致性(无冲突、低冲突、高冲突)的平均反应时(C)和错误率(D)。(****p* < 0.001)

表 2 先前试次一致性与当前试次一致性的反应时的统计分析结果

交互作用	*df*	*F*	*p*	η_p^2	冲突适应模式
3 (无冲突、低冲突、高冲突) × 3 (无冲突、低冲突、高冲突)	4, 120	13.06***	<0.001	0.30	
3 (无冲突、低冲突、高冲突) × 2 (无冲突、低冲突)	2, 60	19.70***	<0.001	0.40	
2 (无冲突、低冲突) × 2 (无冲突、低冲突)	1, 30	35.43***	<0.001	0.54	经典
2 (无冲突、高冲突) × 2 (无冲突、低冲突)	1, 30	22.86***	<0.001	0.43	经典
2 (低冲突、高冲突) × 2 (无冲突、低冲突)	1, 30	3.55	0.069	0.11	反转趋势
3 (无冲突、低冲突、高冲突) × 2 (无冲突、高冲突)	2, 60	10.43***	<0.001	0.26	
2 (无冲突、低冲突) × 2 (无冲突、高冲突)	1, 30	1.17	0.287	0.04	无
2 (无冲突、高冲突) × 2 (无冲突、高冲突)	1, 30	25.08***	<0.001	0.46	经典
2 (低冲突、高冲突) × 2 (无冲突、高冲突)	1, 30	9.90**	0.004	0.25	经典
3 (无冲突、低冲突、高冲突) × 2 (低冲突、高冲突)	2, 60	11.06***	<0.001	0.27	
2 (无冲突、低冲突) × 2 (低冲突、高冲突)	1, 30	11.97**	0.002	0.29	反转
2 (无冲突、高冲突) × 2 (低冲突、高冲突)	1, 30	<1	0.529	0.01	无
2 (低冲突、高冲突) × 2 (低冲突、高冲突)	1, 30	20.22***	<0.001	0.40	经典

注：$^{**}p < 0.01$, $^{***}p < 0.001$

4 讨论

本研究基于字母 Flanker 任务操纵冲突水平探究了冲突适应的触发。结果显示，被试的反应时间随冲突水平的提高而增加，表明本研究通过改变目标-分心物的一致性来实现对冲突水平的操纵是有效的。更重要的是，本研究通过实验设计的方式排除了较低加工水平的特征整合和特征启动的影响，获得了纯净的冲突适应效应。在反应时上，先前试次的一致性影响当前试次的干扰效应，进一步分析发现无冲突和低冲突、无冲突和高冲突、低冲突和高冲突之间均存在冲突适应。

先前大量研究表明冲突适应是任务特定的。如一些整合了 Stroop 和 Flanker(或 Simon)任务的研究表明，仅在后续试次为 Stroop 试次而非 Flanker(或 Simon)试次时，才触发对随后表现的认知控制调整，表明冲突适应出现在同一冲突类型任务中 (Egner et al., 2007; Funes et al., 2010)。因此，Egner (2008)提出冲突驱动的控制是特定领域的，而且可能由多个独立的冲突-控制环路并行加工。另外，冲突的性质(刺激冲突/反应冲突)对冲突适应的影响也不尽相同(Liu et al., 2012)。因此，这些结果为冲突监测系统传递特定类型的冲突信息提供了证据。然而同一冲突类型下冲突水平上的差异能否诱发冲突适应仍不清楚。本研究通过在同一冲突类型下操纵冲突水平为这一问题的解决提供了可能。Botvinick (2001)假设认知系统在 ACC 持续监测冲突水平，冲突被定义为反应层中的能量(energy)，竞争的响应单元共激活程度越

大，冲突越大，该信号传递到 dlPFC 进而调整对任务相关和无关维度的注意加工。本研究通过改变目标-分心物的一致性来影响竞争反应的激活强度，发现高冲突条件下的反应时显著长于低冲突和无冲突条件，且低冲突条件下的反应时长于无冲突条件。这表明本研究对冲突水平的操纵是有效的。

通过改编字母 Flanker 任务参数化操纵冲突水平，并且排除特征整合的混淆，本研究发现先前试次的一致性影响当前试次的干扰效应，无冲突和低冲突、无冲突和高冲突、低冲突和高冲突之间均存在冲突适应，支持 Foster 等(2011)的研究结果，冲突水平的变化影响随后试次的认知控制水平，诱发适应现象。无冲突与低冲突、无冲突与高冲突均呈现经典的冲突适应模式，这与先前定性研究一致和不一致条件的冲突任务结果一致(Notebaert, Gevers, et al., 2006; Notebaert & Verguts, 2011; Ullsperger et al., 2005)，表明冲突的有无可以触发冲突适应。更重要的是，低冲突与高冲突之间存在冲突适应，表明更大的冲突驱动更强的认知控制调整，进一步说明冲突监测对冲突大小的精细变化敏感，为冲突水平的变化诱发冲突适应提供了直接证据。此外，将低冲突作为无冲突和高冲突的过渡条件，可以动态刻画冲突适应过程，也能为现实生活中人们如何适应复杂多变的环境提供参考。在对冲突强度和认知控制水平之间关系的探讨上，Takezawa 和 Miyatani (2005)采用箭头 Flanker 任务操纵目标和分心刺激的空间距离(远和近)，结果发现目标-分心物越接近，干扰效应越大。而且先前试次的冲突水平对任务表现的影响取决于当前试次的一致性，先前试次的冲突越大，当前一致试次的反应时间越长，表明先前试次的冲突大小决定了当前试次的反应抑制强度；当前不一致试次的反应时间在不一致试次后比一致试次后更快更准确，显示了冲突驱动的注意聚焦的作用，但先前不一致试次的冲突水平不影响当前不一致试次的反应时间。这些结果表明，冲突监测机制可能通过选择性注意和反应准备控制来调节后续的行为表现，但这两种控制形式对冲突大小的敏感性不同。与此类似，本研究中无冲突、低冲突和高冲突两两之间的冲突适应效应显示，冲突监测对冲突水平的变化敏感，先前试次的冲突水平可能决定当前试次的认知控制水平，而控制功能可能通过注意聚焦实现。还有研究持对立观点，认为更大的冲突不能驱动随后任务更强的认知控制调整，Rey-Mermet 和 Meier (2014)通过两个改编的任务转换实验检验双价刺激(具有两个任务相关的特征)诱发的冲突水平如何影响双价效应(双价刺激诱发冲突后的认知控制调整)，双价刺激分为一致(反应相同)和不一致(反应不同)，因此一致双价刺激只包含任务冲突，而不一致双价刺激既有任务冲突又有反应冲突。单价刺激则无冲突(仅具有单个任务的相关特征)。结果显示，一致双价刺激和不一致双价刺激后的双价效应相似，表明更大的冲突并不能驱动随后任务更大的认知控制调整，因此双价效应下的认知控制调整只对冲

突的出现而非大小敏感。而 Grundy 和 Shedden (2014)的研究则得出了相反的结论，发现不一致双价刺激较一致双价刺激引起了更大的双价效应。因此他们认为，冲突越大，引发的双价效应越大。但是，这两项研究对冲突水平的操纵并非在同一冲突性质前提下，结论上也存在争议，因此仍需深入探讨。在神经机制上，Kerns 等(2004)和 Kerns (2006)在功能磁共振成像(fMRI)下分别采用色词 Stroop 和 Simon 任务检验冲突监测理论，均发现先前试次与冲突相关的 ACC 的活动可以预测随后试次 PFC 活动的增强及行为的适应，表明先前的冲突强度影响随后试次的认知控制参与程度。此外，Foster 等(2011)的脑电研究表明，N2 成分对冲突程度及其诱发的控制调节具有敏感性，这些结果也被 Clayson 和 Larson (2011)进一步验证。综合先前研究和本研究结果，我们认为更大的冲突驱动更强的认知控制。

本研究结果支持更大的冲突驱动更强的认知控制调整，那么冲突强度是如何影响认知控制水平的呢？控制功能又是如何实现来解决冲突的呢？为解决以上问题，本研究在关注冲突适应的同时需要结合任务特性共同考虑。字母 Flanker 任务的中心为目标刺激，两翼为分心刺激，具有空间分离性，被试可能在控制过程中采用空间注意策略来更好地解决冲突。聚焦镜头(zoom-lens)模型认为，注意焦点的大小可以通过预先设定(precue)来控制，且这个注意焦点区域具有加工资源基本均匀分布的特点；此外，注意焦点的大小与加工的有效性成反比，当注意区域增大时，区域内的加工资源密度降低(Eriksen & James, 1986)。另外，Botvinick 等(2001)对 Eriksen Flanker 任务的序列调整(Gratton et al., 1992)进行了模拟研究，建立了冲突监测-控制的反馈模型。冲突监测(Conflict monitoring)系统将反应层(Response)中的冲突信号转化为控制信号传递到空间注意层(Attention)。基于冲突监测的输出，注意层的输入在试次之间调整，进而实现控制功能，即高冲突导致注意层中心单元的输入更加集中，而低冲突导致注意层输入的分配更加均匀。假设输入到注意层的控制信号的累积量保持恒定，注意层输入的分配在未聚焦[1 1 1]和紧密聚焦[0 3 0]之间变化(Botvinick et al., 2001; p640, Figure 7)。由此推论，冲突监测评估冲突大小(如多个反应同时激活的程度)，而冲突水平的变化会调节对任务相关和任务无关维度的注意分配权重，导致选择性加工的逐步变化，即冲突诱发的认知控制的功能可能通过注意聚焦实现。本研究通过操纵目标-分心物的一致性改变冲突水平，可以进一步探究认知控制的注意调节机制。我们假设，随着先前试次冲突的增大，当前试次的控制水平提高可能导致注意范围缩小，即无冲突、低冲突和高冲突试次后认知控制调节的注意范围逐渐聚焦于任务相关信息。因此，本研究发现的冲突适应可以用冲突监测理论结合注意聚焦来解释。对于无冲突和低冲突、无冲突和高冲突之间的冲突适应，高冲突后的认知控制水平提高可能使得注意集中于任务相关信息(中心字母)，降低了侧翼的干扰；低冲突后

触发的认知控制调整较小，注意可能聚焦至最中间三个相同的字母(靠近目标的分心物起促进作用)，使得最外侧的分心物的干扰降低；而无冲突后无此调整，注意资源均匀分布，导致高冲突和低冲突后的干扰效应均显著小于无冲突后的干扰效应。有趣的是低冲突和高冲突之间的冲突适应，先前试次为低冲突时触发的调整较小，认知控制水平相对较低，注意范围可能缩小至最中间三个字母，会促进当前低冲突试次的加工而阻碍当前高冲突试次的冲突解决，干扰效应较大；另外高冲突试次后认知控制的极大提升可能使得更多注意资源聚焦于中心字母，有利于当前高冲突试次的加工，而目标两侧相同的字母对当前低冲突试次的促进作用可能消失，最终导致高冲突试次后的干扰效应显著小于低冲突试次后的干扰效应。绑定学习理论认为冲突导致唤醒水平的增加进而增强赫布学习，如果其采用注意聚焦机制实现，也能解释本研究的结果，未来需结合神经生理指标检验。

另外，本研究发现了反转的冲突适应现象。高冲突与低冲突之间的 Flanker 效应在无冲突、低冲突之间存在反转的冲突适应。且主要的原因是与先前无冲突相比，低冲突之后的低冲突试次的反应时显著降低。根据冲突监测理论和注意聚焦推测，先前试次为无冲突时，认知控制水平较低，注意范围较广(五个字母)，导致当前试次为低冲突和高冲突的反应时均较长；而当先前试次为低冲突时，认知控制水平相应提高，注意范围进一步缩小(可能聚焦于中间三个字母)，靠近目标字母的分心物对反应具有促进作用，导致当前试次为低冲突时的反应时显著降低，而当前高冲突试次的加工受到认知控制水平和注意策略的制约，因而呈现反转的冲突适应模式。此外，先前试次一致性(低冲突、高冲突)与当前试次一致性(无冲突、低冲突)的交互作用有显著趋势。交互趋势的主要来源是，与先前低冲突相比，先前高冲突后低冲突反应时的增加比无冲突反应时增加的更快，呈现反转的冲突适应趋势。这可能与低冲突-低冲突反应时过快有关，低冲突后认知控制的提升使得注意可能聚焦于最中间三个字母，而低冲突试次中靠近靶刺激的分心物对目标反应具有强有力的促进作用。高冲突-低冲突的反应时减慢，可能由于目标两侧相同的字母对当前低冲突试次的促进作用消失，导致反应延迟。由此可见，先前试次一致性(低冲突、高冲突)与当前试次一致性(无冲突、低冲突)的交互趋势可能受到整体复杂多变的任务环境和注意策略的影响。值得注意的是，反转的冲突适应发生在先前试次类型与当前试次类型不完全相同的组合下，区别于无冲突和低冲突、无冲突和高冲突、低冲突和高冲突之间的冲突适应现象。因此反转的冲突适应现象是先前试次一致性和当前试次一致性交互作用的结果，可能与整体的任务环境和空间注意策略有关，同样支持更大的冲突驱动更强的认知控制调整。

综合而言，本研究发现除了冲突的有无，冲突水平的变化也能诱发冲突适应。基于先

前研究，我们推论，冲突监测不仅能识别冲突的类型还能识别冲突的大小，进而实现灵活动态的认知控制调整。这些发现为冲突监测理论的注意调节机制提供了直接的支持证据。然而，冲突监测理论认为一致刺激和不一致刺激的任务相关维度及任务无关维度同时激活的反应选择通道相互竞争，即使最终的反应一致，也会在神经机制上产生不同程度的冲突(Egner et al., 2005)，因此通常将一致和不一致试次作为低冲突和高冲突条件进行探究。但这种观点在概念上是不合理的，一般认为一致刺激不存在冲突(Algom & Chajut, 2019)。因此，现有的理论模型需进一步明确改进“冲突”的理论概念和操作性定义，为冲突适应的定量研究提供便利。此外，本研究对冲突水平变化影响认知控制调整的探讨，为适应性控制及冲突适应现象提供了新的视角，未来要更加全面深入地刻画冲突适应现象的产生与影响因素，为适应性行为的加工机制提供多角度的证据。同时，本研究也存在一定局限：首先，实验结果无法排除预期的作用，重复预期理论认为，被试通常预期连续出现的两个试次类型相同，即预期一致试次后的下一试次为一致，注意范围相应扩大(平行策略)；而预期不一致试次后的下一试次为不一致，注意范围相应缩小(聚焦策略)，导致反应时呈现冲突适应的模式(Gratton et al., 1992)。因实验设计必然会出现两个连续的无冲突或低冲突或高冲突试次，本研究的结果无法排除重复预期理论的解释。其次，有个别实验结果难以解释，如无冲突与高冲突之间的干扰效应在无冲突和低冲突试次后无显著差异，低冲突与高冲突之间的干扰效应在无冲突和高冲突试次后无显著差异。这发生在先前试次一致性与当前试次一致性不对应的情况下，可能与复杂的任务环境有关。最后，由于本研究是一项行为研究，无法直接检验绑定学习理论有关神经唤醒水平变化的假设以及分心物启动假说、情境-控制学习等新理论，未来需结合神经生理指标或采用不同的实验范式操纵冲突水平进一步探究。值得注意的是，本研究采用的注意聚焦理论是基于冲突监测理论和聚焦镜头模型做出的拓展，未来可通过眼动实验或改变低冲突条件(如 HNNNH→NHNHN)等进一步验证。

5 结论

本研究采用改编的字母 Flanker 任务，探究了冲突水平的变化对认知控制调整的影响。研究结果显示，先前试次的一致性影响当前试次的干扰效应，无冲突和低冲突、无冲突和高冲突、低冲突和高冲突之间均存在冲突适应。因此，本研究认为，除了冲突的有无，冲突水平的变化也能诱发冲突适应，说明更大的冲突驱动更强的认知控制调整，而且冲突诱发的认知控制的功能可能通过注意聚焦实现。

参考文献

Algom, D., & Chajut, E. (2019). Reclaiming the Stroop effect back from control to input-driven attention and perception. *Frontiers in Psychology, 10*,1683.

Botvinick, M. M. (2007). Conflict monitoring and decision making: Reconciling two perspectives on anterior cingulate function. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 7*(4), 356–366.

Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review, 108*(3), 624–652.

Botvinick, M. M., Cohen, J. D., & Carter, C. S. (2004). Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends in Cognitive Sciences, 8*(12), 539–546.

Botvinick, M., Nystrom, L. E., Fissell, K., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature, 402*(6758), 179–181.

Braem, S., Bugg, J. M., Schmidt, J. R., Crump, M. J. C., Weissman, D. H., Notebaert, W., & Egner, T. (2019). Measuring adaptive control in conflict tasks. *Trends in Cognitive Sciences, 23*(9), 769–783.

Clayson, P. E., & Larson, M. J. (2011). Conflict adaptation and sequential trial effects: Support for the conflict monitoring theory. *Neuropsychologia, 49*(7), 1953-1961.

Chiu, Y.-C., & Egner, T. (2019). Cortical and subcortical contributions to context-control learning. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 99*, 33–41.

Danielmeier, C., Wessel, J. R., Steinhauser, M., & Ullsperger, M. (2009). Modulation of the error-related negativity by response conflict. *Psychophysiology, 46*(6), 1288–1298.

Dignath, D., Johannsen, L., Hommel, B., & Kiesel, A. (2019). Reconciling cognitive-control and episodic-retrieval accounts of sequential conflict modulation: Binding of control-states into event-files. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 45*(9), 1265–1270.

Egner, T. (2008). Multiple conflict-driven control mechanisms in the human brain. *Trends in Cognitive Sciences, 12*(10), 374–380.

Egner, T. (2014). Creatures of habit (and control): a multi-level learning perspective on the modulation of congruency effects. *Frontiers in Psychology, 5*, 1247.

Egner, T., Delano, M., & Hirsch, J. (2007). Separate conflict-specific cognitive control mechanisms in the human brain. *NeuroImage, 35*(2), 940–948.

Egner, T., Jamieson, G., & Gruzelier, J. (2005). Hypnosis decouples cognitive control from conflict monitoring

processes of the frontal lobe. *NeuroImage, 27*(4), 969–978.

Eriksen, C. W., & Schultz, D. W. (1979). Information processing in visual search: A continuous flow conception and experimental results. *Perception & Psychophysics, 25*(4), 249–263.

Eriksen, C. W., & ST. James, J. D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception & Psychophysics, 40*(4), 225–240.

Flowers, J. H. (1980). Response priming effects in a digit naming task as a function of target-noise separation. *Bulletin of the Psychonomic Society, 16*(6), 443–446.

Forster, S. E., Carter, C. S., Cohen, J. D., & Cho, R. Y. (2011). Parametric manipulation of the conflict signal and control-state adaptation. *Journal of Cognitive Neuroscience, 23*(4), 923–935.

Funes, M. J., Lupiáñez, J., & Humphreys, G. (2010). Analyzing the generality of conflict adaptation effects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 36*(1), 147–161.

Gratton, G., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1992). Optimizing the use of information: Strategic control of activation of responses. *Journal of Experimental Psychology: General, 121*(4), 480–506.

Grundy, J. G., & Shedden, J. M. (2014). A role for recency of response conflict in producing the bivalency effect. *Psychological Research, 78*(5), 679–691.

Kerns, J. G. (2006). Anterior cingulate and prefrontal cortex activity in an FMRI study of trial-to-trial adjustments on the Simon task. *NeuroImage, 33*(1), 399-405.

Kerns, J. G., Cohen, J. D., MacDonald III, A. W., Cho, R. Y., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2004). Anterior cingulate conflict monitoring and adjustments in control. *Science, 303*(5660), 1023-1026.

Kim, C., Chung, C., & Kim, J. (2010). Multiple cognitive control mechanisms associated with the nature of conflict. *Neuroscience Letters, 476*(3), 156–160.

Kim, C., Kroger, J. K., & Kim, J. (2011). A functional dissociation of conflict processing within anterior cingulate cortex. *Human Brain Mapping, 32*(2), 304–312.

Liu, P. D., Chen, A. T., Li, C., Li, H., & West, R. (2012). Conflict adaptation is reflected by response interference. *Journal of Cognitive Psychology, 24*(4), 457–467.

Liu, P. D., Yang, W. J., Tian, X., & Chen, A. T. (2012). An overview of current studies about the conflict adaptation effect. *Advances in Psychological Science, 20*(4), 532–541.

[刘培朵, 杨文静, 田夏, 陈安涛. (2012). 冲突适应效应研究述评. *心理科学进展, 20*(4), 532–541.]

Mayr, U., & Awh, E. (2009). The elusive link between conflict and conflict adaptation. *Psychological Research, 73*(6), 794–802.

Notebaert, W., Gevers, W., Verbruggen, F., & Liefooghe, B. (2006). Top-down and bottom-up sequential modulations of congruency effects. *Psychonomic Bulletin & Review, 13*(1), 112–117.

Notebaert, W., & Verguts, T. (2006). Stimulus conflict predicts conflict adaptation in a numerical flanker task. *Psychonomic Bulletin & Review, 13*(6), 1078–1084.

Notebaert, W., & Verguts, T. (2011). Conflict and error adaptation in the Simon task. *Acta Psychologica, 136*(2), 212–216.

Rajkowski, J., Kubiak, P., & Aston-Jones, G. (1993). Correlations between locus coeruleus (LC) neural activity, pupil diameter and behavior in monkey support a role of LC in attention. *Society for Neuroscience Abstracts, 19*, 974.

Rey-Mermet, A., & Meier, B. (2014). More conflict does not trigger more adjustment of cognitive control for subsequent events: A study of the bivalency effect. *Acta Psychologica, 145*, 111–117.

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology, 18*(6), 643–662.

Takezawa, T., & Miyatani, M. (2005). Quantitative relation between conflict and response inhibition in the flanker task. *Psychological Reports, 97*(2), 515–526.

Ullsperger, M., Bylsma, L. M., & Botvinick, M. M. (2005). The conflict adaptation effect: It’s not just priming. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 5*(4), 467–472.

Verbruggen, F., Notebaert, W., Liefooghe, B., & Vandierendonck, A. (2006). Stimulus- and response-conflict-induced cognitive control in the flanker task. *Psychonomic Bulletin & Review, 13*(2), 328–333.

Verguts, T., & Notebaert, W. (2008). Hebbian learning of cognitive control: dealing with specific and nonspecific adaptation. *Psychological Review, 115*(2), 518–525.

Verguts, T., & Notebaert, W. (2009). Adaptation by binding: a learning account of cognitive control. *Trends in Cognitive Science, 13*(6), 252–257.

Weissman, D. H., Egner, T., Hawks, Z., & Link, J. (2015). The congruency sequence effect emerges when the distracter precedes the target. *Acta Psychologica, 156*, 8–21.

Weissman, D. H., Jiang, J., & Egner, T. (2014). Determinants of congruency sequence effects without learning and memory confounds. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 40*(5), 2022–2037.

Wendt, M., Kiesel, A., Geringswald, F., Purmann, S., & Fischer, R. (2014). Attentional adjustment to conflict strength: Evidence from the effects of manipulating flanker-target SOA on response times and prestimulus pupil

size. *Experimental Psychology, 61*(1), 55–67.

Changes in the level of conflict trigger conflict adaptation

ZHANG Mengke[1]; LI Qing[1]; YIN Shouhang[1]; CHEN Antao[1]

([1]*Key Laboratory of Cognition and Personality of Ministry of Education, Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing* 400715, *China*)

Abstract

Conflict adaptation is an important phenomenon, as the interference effect on the current trial is reduced following incongruent versus congruent trial. Moreover, conflict adaptation effect (CAE) is thought to measure adaptive control on a trial-by-trial basis. There are two main theories to explain the mechanisms underlying CAE: conflict monitoring theory and adaptation by binding theory. However, both theories have not explicitly proposed a clear relationship between conflict strength and cognitive control adjustment. Previous studies have mostly focused on the type of conflict that triggers CAE, which reflected qualitative analysis. Hence, it remains unclear whether changes in the level of conflict of the same conflict type affect conflict adaptation.

To address the above issue, the present study recruited 31 healthy participants with a mean age of 19.74 years to perform the variant of the letter flanker task without feature repetitions. Each stimulus was composed of "F/H/N/P" letter components and arranged such that a central target letter was flanked by symmetric arrays of two distracter letters. Experiment manipulated the level of conflict by parametrically varying the target-distracter compatibility. Flankers were 100% compatible with the central target for no-conflict condition (e.g., NNNNN), 50% for low-conflict condition (e.g., HNNNH), and 0% for high-conflict condition (e.g., HHNHH). Congruent stimuli were presented on 50% of trials with each incongruent condition occurring equally often on the remaining 50% of trials.

Results showed that reaction times (RTs) increased with the number of incompatible flankers, suggesting a correlation with the level of conflict. Moreover, the interaction between previous trial congruency (no-conflict/low-conflict/high-conflict) and current trial congruency (no-conflict/low-conflict/high-conflict) was significant, which suggested that congruency of previous trial affected the interference effect of current trial. Follow-up analyses revealed that there were classic conflict adaptation phenomena between no-conflict and low-conflict, no-conflict and high-conflict, and low-conflict and high-conflict conditions. These results showed that conflict adaptation was also triggered by the level of conflict in addition to the occurrence of

the conflict. Overall, the present study demonstrated that the conflict strength of previous trial was related to the cognitive control level of current trial, showing that larger conflict led to stronger cognitive control adjustment. In addition, the function of conflict-induced cognitive control may be realized by attention focusing.

In conclusion, the present study emphasizes that changes in the level of conflict could trigger conflict adaptation that provides more direct supporting evidence for attention adjustment mechanism of conflict monitoring theory. Combining existing research, we infer that conflict monitoring was sensitive to the type and level of conflict and that it adjusted the level of cognitive control to facilitate conflict resolution.

Key words cognitive control; level of conflict; conflict adaptation; attention focus